



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Etude de L'effet de L'inclinaison des Chicanes sur le Comportement Dynamique et Thermique d'un Fluide Circulant en Convection Forcée Turbulente dans un Canal Horizontal

Rachid Bouchenafa^{#1}, Rachid Saim^{#1}

¹ *Laboratoire Energétique Et Thermique Appliquée (ETAP)
Faculté de Technologie, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen
BP 230- Tlemcen-13000- Algérie*

Bouchenafa_rachid2001@yahoo.com

saimrachid@yahoo.fr

Résumé— Une étude numérique d'un écoulement turbulent incompressible bidimensionnel d'air traversant une conduite de section rectangulaire munie de deux chicane inclinées est entreprise en utilisant le code de calcul Fluent. Les deux chicanes sont attachées d'une manière chevauchée aux parois supérieure et inférieure respectivement. Les équations gouvernantes, basées sur le modèle k-w SST utilisé pour modéliser la turbulence, sont résolues par la méthode des volumes finis à l'aide de l'algorithme SIMPLE. Les calculs sont effectués pour un nombre de Reynolds entre 12000 et 33000. Les profils de vitesse axiale, les champs de vitesse, le coefficient de friction et la distribution de nombre de Nusselt ont été obtenues pour toute la géométrie considérée et pour différentes sections choisies, à savoir, en amont, en aval et entre les deux chicanes inclinées. Cette contribution a pour but d'étudier l'effet de l'inclinaison des chicanes sur le comportement dynamique et thermique de l'air. Les résultats de simulation qui ont été obtenues par l'utilisation des chicanes solides, planes et inclinées avec des degrés 3.8°, 5° et 6.4° orientées vers la gauche sont validés par une étude expérimentale. Une bonne concordance est observée entre les résultats numériques et expérimentaux.

Mots clés—: Canal, chicanes inclinées, écoulement turbulent, solution numérique.

I. INTRODUCTION

Le phénomène de convection est rencontré dans diverses applications concernant les échangeurs de chaleur destinés au chauffage ou au refroidissement des fluides visqueux dans les procédés chimiques et les industries alimentaires, les échangeurs de chaleur compacts pour les écoulements de gaz ainsi que ceux intervenant dans les applications biomédicales. D'autres champs d'applications peuvent être aussi considérés, il s'agit des collecteurs solaires, les réacteurs nucléaires et le refroidissement des composants électroniques.

L'augmentation des performances énergétiques nécessite l'implantation des ailettes ou des obstacles dans la veine de l'écoulement dans les canaux de façon à créer la turbulence et à prolonger la trajectoire des fluides en favorisant un meilleur échange thermique convectif et par voie de conséquence une amélioration notable de l'efficacité thermique.

Un travail considérable a été effectué ces dernières années sur les écoulements et les transferts thermiques dans les échangeurs à faisceaux et à calandres. De tels travaux présentent un intérêt particulier dans l'amélioration et la prédiction des écoulements autour de chicanes. Ces études sont de natures numériques et expérimentales, **Kellar et Patankar** [1] ont fait une analyse numérique de l'écoulement laminaire avec transfert de chaleur entre les plaques parallèles avec des chicanes. Les résultats montrent que l'écoulement est caractérisé par fortes déformations et de grandes régions de recirculation. En général, le nombre de Nusselt et le



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



coefficient de frottement augmentent avec le Nombre de Reynolds. **H. Chang et A.F. Mills [2]** Ont mené une étude numérique d'un écoulement turbulent dans un canal muni d'ailette transversal. La résolution numérique du problème a été faite à l'aide du programme de simulation Phenics . En variant la hauteur de l'ailette de (10,15 et 20) ils ont constaté une nette influence de celle-ci sur le coefficient de frottement pour le nombre de Reynolds variant de (10.000 à 30.000) par contre le taux de transfert de chaleur est resté faible. **Yang et Hwang [3]** ont effectué un travail intéressant portant sur des chicane pleines et poreuses dans un canal bidimensionnel pour un régime turbulent d'écoulement. Leurs résultats pour le cas poreux sont meilleurs par rapport au cas pleins. **Li et Kottke [4, 5]** ont mené une série de travaux expérimentaux sur des échangeurs de chaleur à faisceau de tubes et calandre pour analyser le coefficient de transfert (HTC) et le coefficient de la perte de pression côté calandre. Les paramètres de l'étude expérimentale étaient le nombre de Reynolds et la distance entre chicane. Les résultats ont montré que, pour une valeur constante du nombre de Reynolds, le coefficient d'échange thermique et le coefficient de frottement augmentent avec l'augmentation de la distance entre chicane. **S. Sdutta et M. Baker [6]** Ont fait l'étude expérimentale et numérique du transfert de chaleur dans un écoulement turbulent à travers un canal muni de deux ailettes. Dans cette étude ils se sont souciés sur la fiabilité des modèles de la turbulence en les confrontant aux résultats expérimentales obtenus à l'aide d'un anémométrie Lazer-Doppler. **Demartini et al [7]** ont étudié le flux d'air à travers un canal rectangulaire avec deux chicane planes, une analyse complète des profils de vitesse et les gradients de pression a été réalisée dans ce travail. **Prashanta Dutta et Akram Hossain [8]** Ont fait une étude expérimentale de la perte de friction et le comportement de transfert de chaleur d'un écoulement turbulent dans un canal rectangulaire chauffé de sa paroi supérieure, pour différentes tailles, positions et orientations des chicane inclinées attachées sur la paroi supérieure et la paroi inférieure. Deux types de chicane sont utilisées solide et perforée.

L'objectif du présent travail est d'étudier le comportement dynamique d'un écoulement d'air turbulent à l'intérieur d'un canal de section rectangulaire contenant deux chicane inclinées. Pour différents nombres de Reynolds et pour différentes inclinaisons des chicane, on propose une analyse des champs de vitesses, des coefficients de frottement de température ainsi que le nombre de Nusselt dans le canal.

II. FORMULATION MATHÉMATIQUE

A. Géométrie du problème:

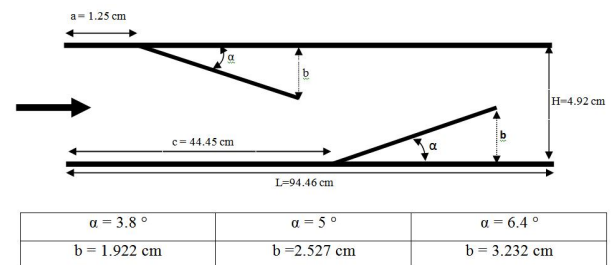


Figure.1 Schéma représentatif du problème

La géométrie du problème considéré est schématisée par la figure (1). Elle consiste en deux chicane inclinées, montés dans un canal horizontal, l'une des chicane est montée sur la paroi supérieure et l'autre sur la paroi inférieure. Les dimensions géométriques sont basées sur les données expérimentales publiées par **Prashanta Dutta, Akram Hossain [8]** et **Prashanta Dutta Sundip Dutta [9]**.

B. Hypothèses simplificatrices:

Dans cette étude numérique, on suppose que:

- L'écoulement et le transfert de chaleur sont bidimensionnels,
- l'écoulement incompressible et stationnaire,
- les propriétés thermo-physiques du fluide et du solide sont constantes,
- les profils de vitesse et de température uniformes,
- le rayonnement thermique est négligeable.

C. Equations gouvernantes:

1) Équation de continuité :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) \quad (1)$$

2) Equation de la quantité de mouvement:

$$\frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**

**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



3) Equation d'énergie:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

Où

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr}$$

4) Modèle de turbulence k- ω SST:

Le modèle k- ω SST ou transport des contraintes de cisaillement turbulente est dérivé le modèle k- ω standard. Ce modèle combine la robustesse et la précision de la formulation du modèle k- ω dans la région proche de la paroi avec le modèle k- ϵ .

Le modèle k- ω est défini par deux équations de transport, une pour l'énergie cinétique turbulente k (4), et l'autre pour le taux de dissipation spécifique ω (5).

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \omega u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (5)$$

5) Conditions aux limites:

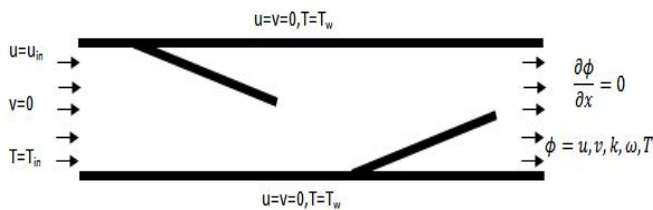


Figure 2. Schéma représentatif des conditions aux limites

Les conditions aux limites hydrodynamiques sont choisies en fonction des travaux expérimentaux de Dutta et Hossain [8]. Les conditions aux limites thermiques sont choisies en fonction du travail de Demartini [7]. Une température constante de $T_w = 102 \text{ }^\circ\text{C}$ ($T_w = 375\text{K}$) a été appliqué sur les deux parois.

III. SOLUTION NUMERIQUE

La méthode des volumes finis, basée sur l'algorithme SIMPLE, est utilisée pour résoudre le système d'équations gouvernantes muni des conditions aux limites.

A. Choix du maillage

Des essais numériques avec des grilles de maillages ont été réalisés pour des nombres des nœuds 20113, 22191 et 30589 correspond respectivement aux couples $(N_x, N_y) = (378, 65)$, $(406, 70)$ et $(476, 80)$. La figure (3) montre que la variation est très faible sur la vitesse axiale.

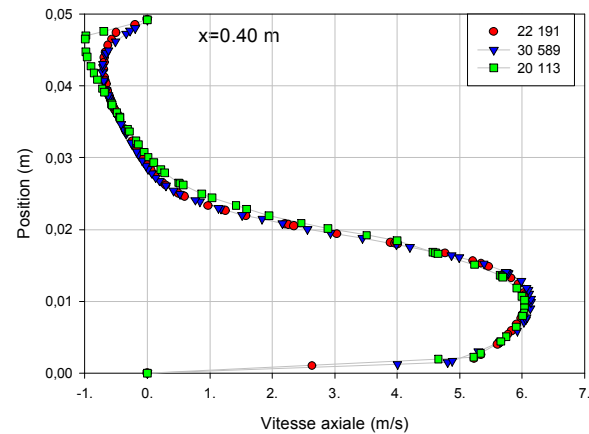


Figure 3. Influence du maillage sur la vitesse axiale

Tableau 1. Validation du maillage

Grille	378x 65	406 x 70	476 x 80
X	0.400	0.400	0.400
Y	0.0492	0.0492	0.0492
U_{max}	6.036	6.055	6.142
U_{min}	0.068	0.410	0.084
$\Psi_{k=0}$	0.129	0.125	0.125

B. Validation:

La comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux obtenus par Dutta et Hossain [8], présentée sur la figure (4), montre une bonne concordance entre les coefficients de friction.



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

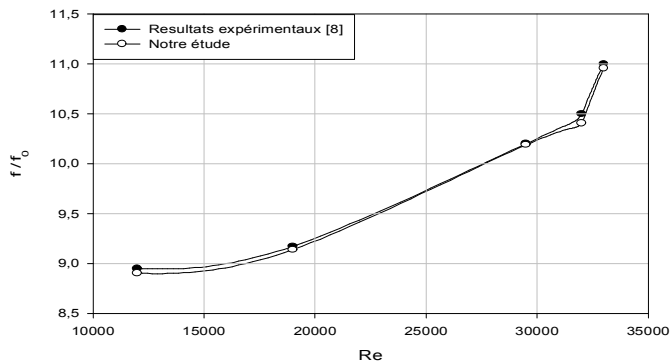


Figure 4. Validation de la simulation numérique avec l'expérience.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION:

Cette étude numérique se concentre sur l'influence de l'inclinaison des chicanes sur le comportement dynamique et thermique d'un écoulement turbulent. Les contours et les profiles de vitesse, le coefficient de friction et le nombre de Nusselt sont présentés en deux parties distinctes : hydrodynamique et Thermique.

A. Aspect hydrodynamique :

La figure 5 montre le champ de vitesse axiale dans le canal pour les trois inclinaisons (3.8° , 5° et 6.4°). L'air s'accélère avec la diminution de la section du passage. Une zone de recirculation du fluide est formée entre les deux chicanes et est proportionnelle avec l'inclinaison de la première chicane. Inversement, après la deuxième chicane, la zone de recirculation diminue quand l'inclinaison augmente. Les profils de la vitesse axiale sont présentés dans la figure 6, à la position $x=0.010$ m juste à l'entrée du canal et pour le nombre de Reynolds ($Re=12000$). Il est remarquable que les vitesses sont égales à la vitesse d'entrée pour les trois cas. La figure 7 présente les profils de la vitesse axiale à la position $x=0.20$ m par rapport à l'entrée du canal, cette vitesse est proportionnelle avec l'inclinaison de la première chicane. Entre les deux chicanes, la figure 8 montre que la vitesse axiale dans la partie inférieure du canal augmente avec l'augmentation de l'angle de l'inclinaison, et sa valeur dépasse les 300 % de la vitesse d'entrée. Dans la partie supérieure du canal, les vitesses ont des valeurs négatives ce qui montre l'existence des zones de recirculation. Au niveau de la deuxième chicane, à la position $x=0.70$ m, la figure 9

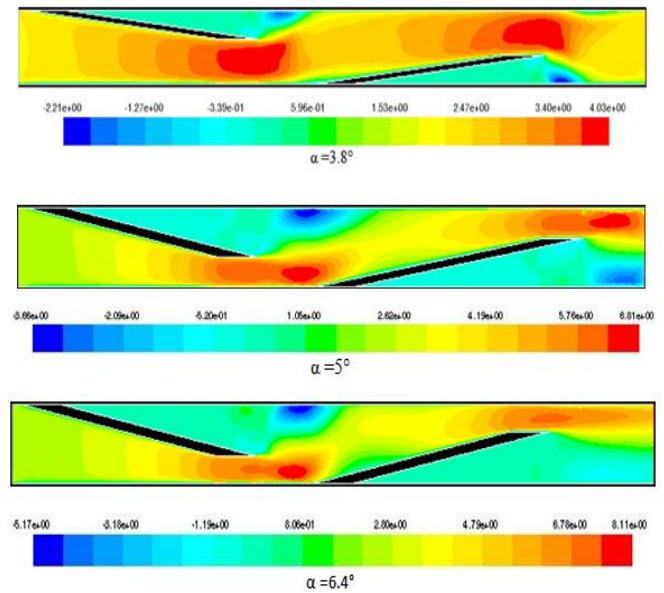


Figure 5. Contours de vitesse axiale

montre que les vitesses axiales augmentent dans la partie supérieure du canal avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison. Près de la sortie du canal, en position $x=0.90$ m, d'après la figure 10, les vitesses axiales positives et négatives sont proportionnelles avec l'inclinaison de la deuxième chicane. L'existence des vitesses négatives montre la présence des zones de recirculation dans la partie inférieure du canal.

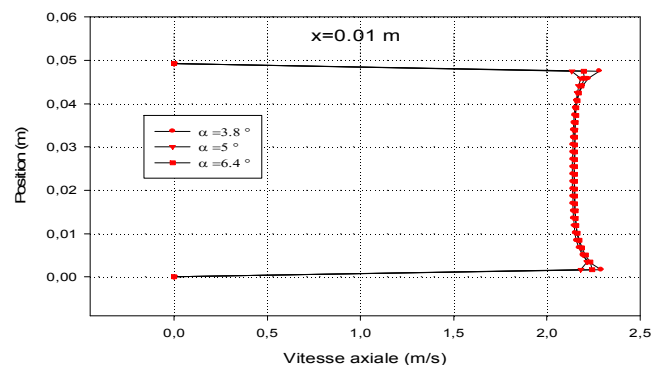


Figure 6. Profils de vitesse axiale à l'entrée du canal ($x=0.010$ m).



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

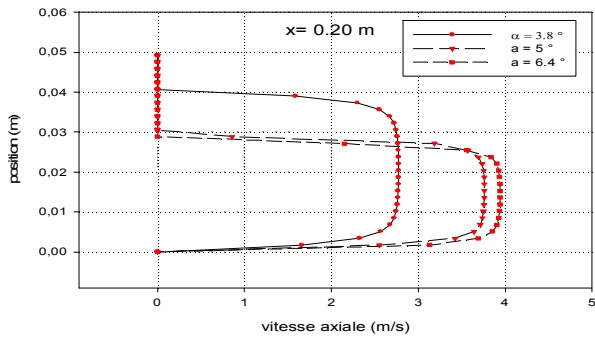


Figure 7. Profils de vitesse axiale en $x=0.20$

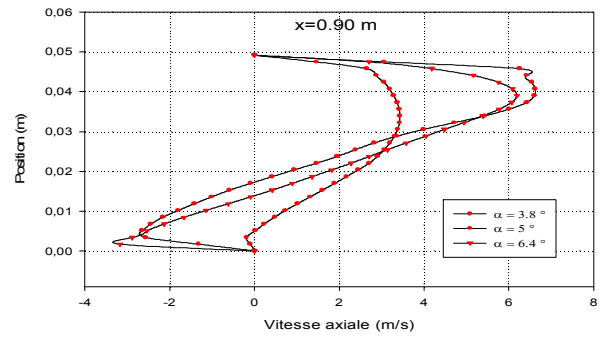


Figure 10. Profils de vitesse axiale près de la sortie du canal

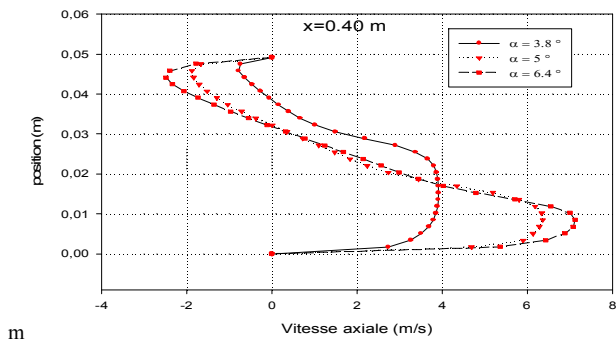


Figure 8. Profils de vitesse axiale entre les deux chicanes

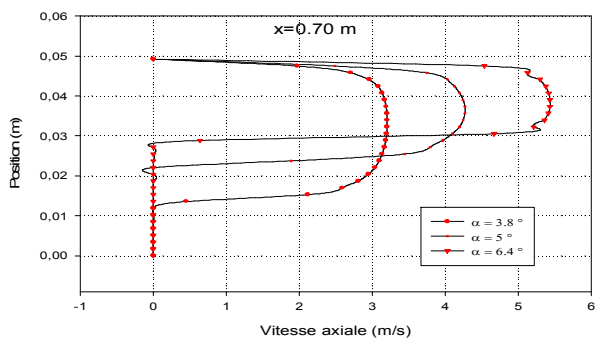


Figure 9. Profils de vitesse axiale en $x=0.70$ m

Le coefficient de friction en fonction du nombre de Reynolds pour la paroi supérieure et la paroi inférieure est présenté sur les figures 11 et 12 respectivement. Pour les trois configurations $\alpha=3.8^\circ$, $\alpha=5^\circ$ et $\alpha=6.4^\circ$, le coefficient de frottement est proportionnel avec le nombre de Reynolds et l'inclinaison des chicanes.

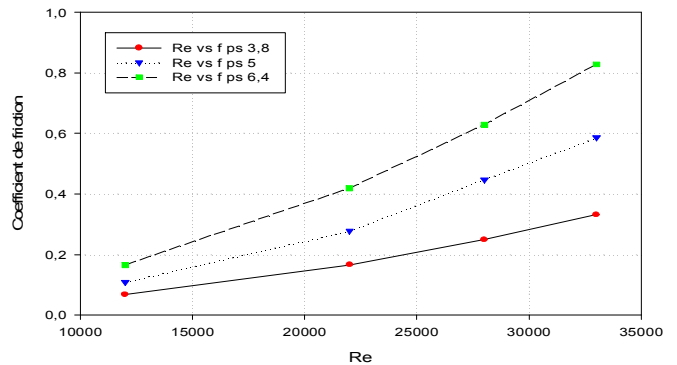


Figure 11. Coefficient de friction en fonction de nombre de Reynolds (Paroi supérieure)



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

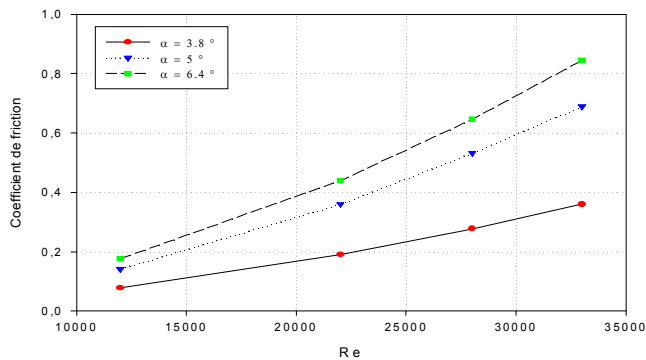


Figure 12. Coefficient de friction en fonction de nombre de Reynolds (Paroi inférieure)

B. Aspect thermique :

Les contours de la température dans le canal pour les trois configurations sont présentés sur la figure 13. L'air a une température élevée près des deux parois. Derrière les deux chicanes, la température de l'air est plus importante à cause de la présence des zones de recirculations qui favorisent l'échange thermique entre l'air et les parois chauffées.

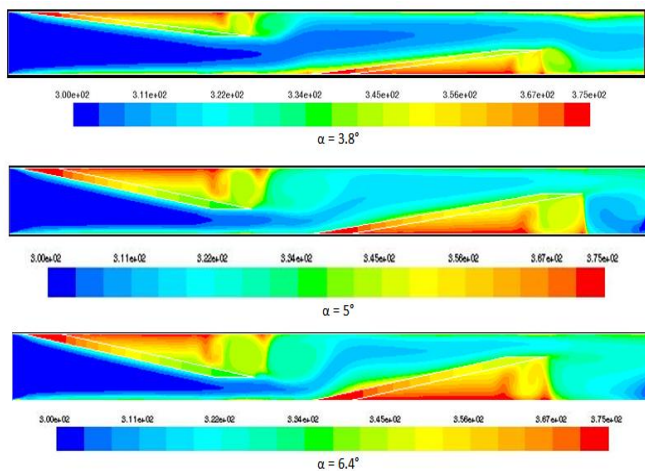


Figure 13. Contours de température

Les figures 14 et 15 présentent la variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour les deux parois supérieure et inférieure respectivement. Il est clair que le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds et l'angle d'inclinaison des deux chicanes.

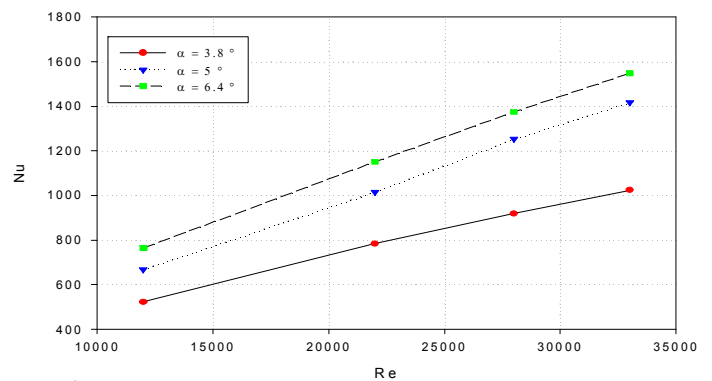


Figure 14. Nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds (paroi supérieure)

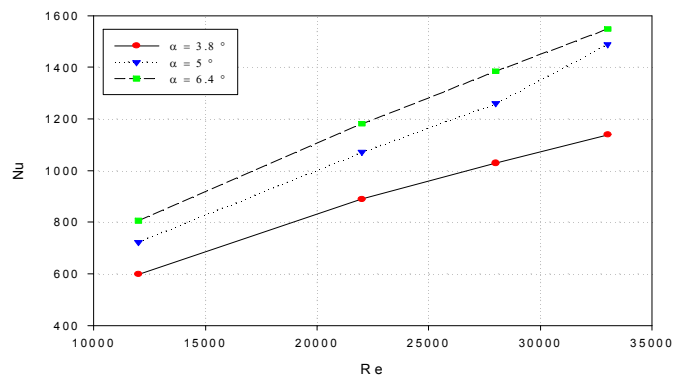


Figure 16. Nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds (paroi inférieure)

V. CONCLUSION

Une étude numérique de l'effet de l'inclinaison de deux ailettes planes attachées sur les deux parois supérieure et inférieure d'un canal horizontal sur le comportement dynamique et thermique d'un écoulement d'air en convection forcée turbulente a été présentée.

Les résultats numériques obtenus sont validés par une étude expérimentale. Les équations gouvernantes sont résolues par la méthode des volumes finis et l'algorithme SIMPLE. Les profils de vitesse axiales montrent que la



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



vitesse (positive et négative) est proportionnelle avec l'inclinaison des ailettes. La taille des zones recirculation après chaque ailette est aussi proportionnelle avec l'inclinaison des ailettes. Il est remarquable que le coefficient de friction et le nombre de Nusselt augmentent avec l'augmentation du nombre de Reynolds et l'angle d'inclinaison.

En perspective, on propose d'étaler cette étude à des autres études qui aborderont l'influence de la longueur et l'espacement entre les deux ailettes.

Références :

- [1] K.M. KELLAR et PATANKAR, « Numerical prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered fins », Journal of Heat Transfer. 109, pp. 25-30, 1987.
- [2] B.H. CHANG ET A.F. MILLS, « Turbulent flow in a channel with transverse rib heat transfer augmentation ». International journal of heat and mass transfer. Vol 36 PP 1459-1469, 1993
- [3] YANG and HWANG, « Calculation of turbulent flow and heat transfer in a porous-based channel ». International Journal of Heat and Mass Transfer, 46, pp. 771-80, 2003
- [4] H.LI, KOTTKET, « Effect of baffle spacing on pressure drop and local heat transfer in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement ». Int. J. Heat Masse Transfer 41 (10), pp. 1303-1311, 1998
- [5] H.LI, KOTTKET, « Effect of the leakage on pressure drop and local heat transfer in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement ». International Journal of Heat and Mass Transfer, 41(2), pp. 425-433, 1998
- [6] S. SDUTTA ET M. BAKER, « Periodically developed flow and heat transfer in a ribbed duct ». International journal of heat and mass transfer. Vol 36 PP 2069-2082, 1993.
- [7] L. C. DEMARTINI, H. A. VIELMO and S. V. MÖLLER, « Numeric and Experimental Analysis of the Turbulent Flow through a Channel with Baffle Plates ». J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng, Vol. XXVI, No. 2 / 153, 2004
- [8] PRASHANTA DUTTA, AKRAM HOSSAIN « Internal cooling augmentation in rectangular channel using two inclined baffles ». International Journal of Heat and Fluid Flow, 26, pp 223-232, 2005
- [9] PRASHANTA DUTTA, SUNDIP DUTTA « Effect of baffle size, perforation, and orientation on internal heat transfer enhancement ». International Journal of Heat and Mass Transfer (41) 3005-3013, 1998

NOMENCLATURE :

- a : Distance entre l'entrée du canal et la première ailette (m).
- c : Distance entre l'entrée du canal et la deuxième ailette (m).
- D_w : Terme de la diffusion croisée.
- G_k : Génération de l'énergie cinétique turbulente due au gradient de vitesse
- G_w : Génération de l'énergie cinétique turbulente due au buoyancy

H : Hauteur du canal (m)

k : Energie cinétique turbulente (m^2/s^2)

l : Longueur de l'ailette (m).

L : Longueur du canal (m).

Nu : Nombre de Nusselt.

P : Pression (Pa).

P_{atm} : Pression atmosphérique (Pa).

Pr : Nombre de Prandtl.

Re : Nombre de Reynolds.

: Termes sources. S_k, S_w

t : Epaisseur de l'ailette (m).

T : Température (K).

: Température d'entrée du fluide (K). T_{in}

: Température des parois inférieure et supérieure (K). T_{tw}

: Vitesse d'entrée du fluide (m/s). U_{in}

u : Vitesse dans la direction « x » (m/s).

v : Vitesse dans la direction « y » (m/s).

: Dissipation de k et ω . Y_k, Y_w

Symboles Grecs :

ω : Énergie de dissipation turbulente (m^2/s^2).

: Viscosité dynamique (Pa.s). μ

: Diffusivité effective de k et ω . Γ_k, Γ_w